

補助事業番号 2020M-174

補助事業名 2020年度平面導波路型リアルタイムデジタルホログラフィック顕微鏡 補助事業

補助事業者名 電気通信大学大学院情報理工学研究科 准教授 渡邊 恵理子

1 研究の概要

デジタルホログラフィック顕微鏡の超小型化と位相シフト高速化のため、平面導波路にヒーターを内蔵した平面導波路型リアルタイムデジタルホログラフィック顕微鏡(High-Speed Planar Lightwave Circuit Digital Holographic Microscope with thermo-optical phase shifter: 高速 PLC-DHM)を開発し、3次元動画像取得に成功した。PLCのヒーターやCMOS等を最適に制御することで相対位相差 $\pi/2$ の干渉縞画像を連続的かつ正確に取得可能である。干渉縞画像から生成した再構成像を組み合わせることで透明な生体試料の3次元動画像イメージングを実証した。

2 研究の目的と背景

デジタルホログラフィック顕微鏡(Digital Holographic Microscope : DHM)は微小物体の振幅情報と定量位相情報を測定可能な技術であり、測定の後に計算機上で伝搬距離を変えて再生することが可能であることから、サンプルに対して、それぞれの位置にフォーカスを合わせた再生ができる利点がある。一般に、DHM は物体を拡大するための物体拡大用の対物レンズが必要であり、装置の小型化には限界があった。そこで我々は光通信で多く用いられている平面導波路に注目し、拡大用の対物レンズの代わりとなる球面参照波を利用することで、レンズレスかつ装置の超小型化を実現した。本研究では、このシステムの光電子集積回路との組み合わせが容易となる特徴を活かし、平面導波路にヒーターを内蔵することで、位相シフト時間を大幅に短縮し、高速 PLC-DHM による動画像取得の実現を目指した。

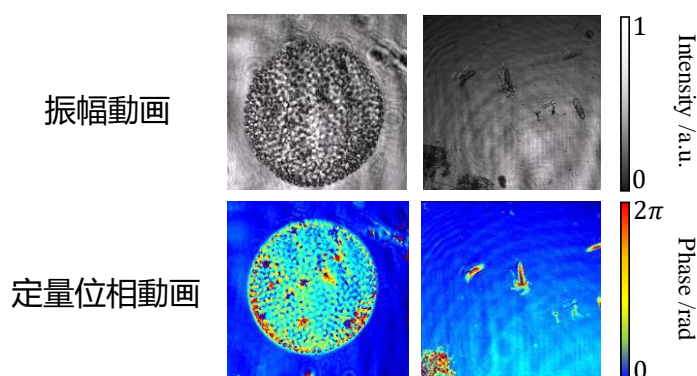
3 研究内容

研究内容: 平面導波路型リアルタイムデジタルホログラフィック顕微鏡の開発

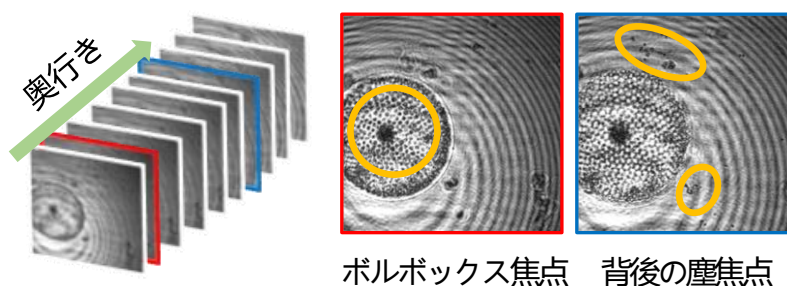
(<https://thesis.f-lab.tech.uec.ac.jp/projects/view/20>)

本研究で開発した高速 PLC-DHM はレーザー等(632.8 nm, 40 mW)を光源とし、平面導波路内で物体光と参照光に分波し、端面からの出射光を点光源とすることで、対物レンズを必要せず DHM を実現できる。出射光の片方である物体光はサンプルに照射され、ビームスプリッタを介してもう片方の参照光と干渉させ、撮像素子(CMOS センサ)で干渉縞画像の記録を行う。また、撮像素子で記録された干渉縞画像 4 枚を PC 上で画像処理を行うことで 1 次光のみの再生像を取得できる。ここで平面導波路は 4 層構造であり、1 層目は導波路、2 層目から 4 層目はヒーターや電極で構成される位相シフタである。導波路上に Cr の薄膜ヒーターと配線、Au の電極と配線が蒸着されている。電極から電流を流すと Au の配線上を伝いヒーター一部分に達する。電流は Cr の薄膜ヒーターに流れることで熱され、熱光学効果で参照光を高速に位相シフトされる。位相シフタが平面導波路に内蔵されていることで高効率な熱光学効果を得られる。本システムでは、PLC-DHM における干渉縞取得のフレームレイトは 100 fps と設定し、それに伴い位相シフト間隔は 10 ms とした。4 段階位相シフトの時間は 4 フレームで 40 ms となり、再構成動画のフレームレイトは 25 fps となる。

また、平面導波路のヒーターに流す電流とCMOSとのトリガー制御を行うことで、CMOSの持つ高速性をほぼ最大まで活かすことが可能である。ここで後続する干渉縞の位相差はすべて $\pi/2$ であるという点を踏まえ3枚の干渉縞画像を共有すると、10 ms 間隔で4枚の干渉縞画像を取得できる。この方法では、1フレームが40msで平均化されることになるが、100 fpsにて連続した再構成動画画像を取得できる。



振幅動画と位相動画



3次元イメージングの例

平面導波路型デジタルホログラフィック顕微鏡による動画取得例

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本技術により、デジタルホログラフィック顕微鏡が超小型化され、サンプルの振幅と定量位相の情報の動画画像として取得できる顕微鏡システムが実現できる。さらに、今後AWG(Arrayed Waveguide Grating)と組み合わせることで1つの白色光源だけで複数の波長情報を自由に取得できるため、3次元フルカラーの動画画像や位相変化量の波長依存性を観察できる。これらを活用することで新しい診断ツール、新たな治療方法、新しい工業製品の検査方法などが創出できると考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

光の高精度位相制御により従来の情報処理技術・光干渉技術の限界を超えるいくつかのシステムを提案・実証してきた。本研究における、平面導波路型リアルタイムデジタルホログラフィック

顕微鏡は、これまでの研究の延長でありながらも、大きなステップを超えたシステムが実現できたと考えられる。

6 補助事業に係る成果物

補助事業により作成したもの

<https://thetis.f-lab.tech.uec.ac.jp/projects/view/20> (URL)

令和2年度業績一覧

1. 五味英晃, 児玉周太郎, 岡本勝就, 渡邊恵理子, “平面導波路型デジタルホログラフィック顕微鏡のための可視域アレイ導波路グレーティング,” 第81回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-Z20-11, (オンライン, 2020.9)
2. 仲間一貴, 五味英晃, 児玉周太郎, 岡本勝就, 渡邊恵理子, “熱光学位相シフタ内蔵型高速平面導波路型デジタルホログラフィック顕微鏡の基礎検討”, Optics & Photonics Japan 2020, 17pO15(オンライン開催, 2020.11)
3. 仲間一貴, 五味英晃, 児玉周太郎, 岡本勝就, 渡邊恵理子, “熱光学位相シフタを搭載した平面導波路型デジタルホログラフィック顕微鏡による動画像取得”, 第15回関東学生研究論文講演会, O1-01, pp.7(オンライン開催, 2021.3)
4. 仲間一貴, 五味英晃, 児玉周太郎, 岡本勝就, 渡邊恵理子, “熱光学位相シフタ内蔵型高速平面導波路デジタルホログラフィック顕微鏡”, 第68回応用物理学会 春季学術講演会, 19p-Z28-5(オンライン開催, 2021.3)
5. Hideaki Gomi, Shutaro Kodama, Katsunari Okamoto and Eriko Watanabe, “Preliminary Evaluation of Visible Arrayed Waveguide Gratings for Planar Lightwave Circuit Digital Holographic Microscope,” ISOM2020
6. Hideaki Gomi, Kazutaka Nakama, Katsunari Okamoto, and Eriko Watanabe, High-speed planar lightwave circuit digital holographic microscope using a thin film heater for biological samples, BISC2021, BISC-04-01(online, 2021.4)

7 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 電気通信大学 情報理工学研究科 渡邊研究室(デンキツウシンダイガク ジョウホウリコウガクケンキュウカ ワタナベケンキュウシツ)

住 所: 〒182-8585
東京都調布市調布ヶ丘1-5-1

申 請 者: 准教授 渡邊 恵理子(ワタナベ エリコ)

担 当 部 署: 同上

E - m a i l: eriko.watanabe@uec.ac.jp

U R L: <https://thetis.f-lab.tech.uec.ac.jp/projects/view/20>